



E3-0191-TS(3)

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 38 416 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 N 27/406**

②① Aktenzeichen: 199 38 416.9  
②② Anmeldetag: 13. 8. 1999  
④③ Offenlegungstag: 16. 3. 2000

DE 199 38 416 A 1

③⑩ Unionspriorität:  
P 10-238794 25. 08. 1998 JP

⑦① Anmelder:  
Denso Corp., Kariya, Aichi, JP

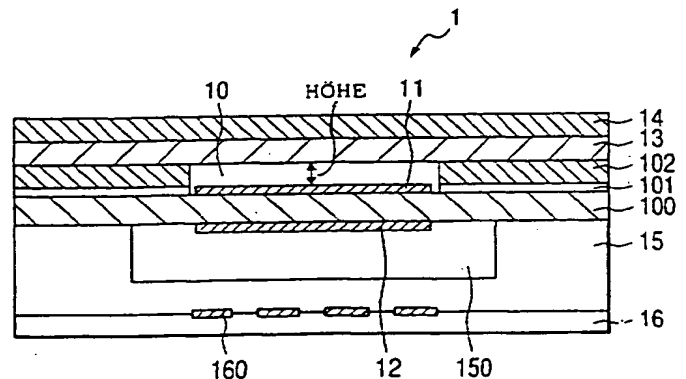
⑦③ Vertreter:  
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

⑦② Erfinder:  
Nakae, Makoto, Kariya, Aichi, JP; Sugiyama, Tomio,  
Kariya, Aichi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement

⑤⑦ Ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement (1) umfaßt ein Festelektrolytsubstrat (100) mit Sauerstoffionenleitfähigkeit. An einer der Oberflächen des Festelektrolytsubstrats (100) ist eine Meßgas-Fühlerelektrode (11) bereitgestellt, derart, daß sie einem Meßgas ausgesetzt ist. An einer anderen Oberfläche des Festelektrolytsubstrats (100) ist eine Bezugsgas-Fühlerelektrode (12) bereitgestellt, derart, daß die Bezugsgas-Fühlerelektrode (12) einem in eine Bezugsgaskammer (150) eingeleiteten Bezugsgas ausgesetzt ist. Die Meßgas-Fühlerelektrode (11) ist von einer porösen Diffusionswiderstandsschicht (13) bedeckt. Außerdem ist zwischen der Meßgas-Fühlerelektrode (11) und der porösen Diffusionswiderstandsschicht (13) ein Hohlraum (10) ausgebildet.



DE 199 38 416 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement, das die Emissionsgaskonzentration in einer Abgasleitung erfaßt, um das Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines bei einem Kraftfahrzeug oder dergleichen eingebauten Verbrennungsmotors zu steuern.

Um die in dem Abgas des Verbrennungsmotors enthaltenen schädlichen Emissionskomponenten zu reinigen und um außerdem die Kraftstoffersparnis des Verbrennungsmotors zu verbessern, wird üblicherweise ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühler eingesetzt, um bei dem Verbrennungsmotor die Verbrennung zu regeln. Bei einem derartigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühler läßt sich vorzugsweise ein mehrlagiges Fühlerelement einbauen.

Das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement umfaßt im allgemeinen ein Festelektrolytsubstrat mit Sauerstoffionenleitfähigkeit, eine an einer der Oberflächen des Festelektrolytsubstrats bereitgestellte Emissionsgas-Fühlerelektrode und eine an der anderen Oberfläche des Festelektrolytsubstrats bereitgestellte Bezugsgas-Fühlerelektrode. Eine Oberfläche der Emissionsgas-Fühlerelektrode ist von einer Diffusionswiderstandsschicht mit zahlreichen feinen Löchern bedeckt, die das Emissionsgas darin eindiffundieren lassen (vgl. JP-A-4-120454). Die Diffusionswiderstandsschicht wirkt als eine diffusionsratenbestimmende Schicht.

Das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement erfaßt ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis auf der Grundlage des Stroms, der zwischen der Emissionsgas-Fühlerelektrode und der Bezugsgas-Fühlerelektrode fließt, wenn zwischen diesen Elektroden eine vorbestimmte Spannung angelegt ist.

Die Emissionsgas-Fühlerelektrode besitzt katalytische Aktivität, um im Ansprechen an die zwischen die Emissionsgas-Fühlerelektrode und die Bezugsgas-Fühlerelektrode angelegte Spannung in dem Emissionsgas vorkommenden Sauerstoff zu ionisieren. Der ionisierte Sauerstoff bewegt sich in dem Festelektrolytsubstrat und erreicht die Bezugsgas-Fühlerelektrode. Der Strom aus ionisiertem Sauerstoff ruft zwischen den zwei Elektroden einen Ionenstrom hervor. Die Diffusionswiderstandsschicht unterdrückt die Diffusionsgeschwindigkeit des Emissionsgases.

In Fig. 14 ist der Zusammenhang zwischen der angelegten Spannung und dem sich ergebenden Strom gezeigt, der bei zwischen der Emissionsgas-Fühlerelektrode und der Bezugsgas-Fühlerelektrode anliegender Spannung gemessen wird. Wie aus Fig. 14 hervorgeht, ist die Zunahme des Stroms nicht immer proportional zu dem Anstieg der Spannung. In einem bestimmten Spannungsbereich bleibt der Strom unabhängig von dem Spannungsanstieg konstant. Mit anderen Worten tritt ein Abflachungsbereich auf. Der Sättigungsstromwert in diesem Abflachungsbereich wird allgemein als "Grenzstromwert" bezeichnet. Im nachfolgenden wird der Abflachungsbereich als "Grenzstrombereich" bezeichnet.

Wie sich aus Fig. 14 und Fig. 15 ergibt, ändert sich der Grenzstromwert abhängig vom Luft-Kraftstoff-Verhältnis (A/F). Mit anderen Worten läßt sich das Luft-Kraftstoff-Verhältnis (A/F) erfassen, indem die angelegte Spannung derart eingestellt wird, daß der Grenzstrom erfaßt wird.

Allerdings weist die Diffusionswiderstandsschicht mit den zahlreichen feinen Löchern in Hinblick auf ihr Diffusionsverhalten eine Temperaturabhängigkeit auf. Angesichts einer Verschlechterung der Meßgenauigkeit des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements ist die Verwendung einer derartigen temperaturabhängigen Diffusionswiderstandsschicht daher nicht vorzuziehen. Wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis zum Beispiel konstant bleibt, be-

steht die Möglichkeit, daß der Grenzstrom des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements aufgrund einer Temperaturänderung fälschlicherweise abweicht.

Eines der derzeitigen Erfordernisse zur Realisierung fortschrittlicher Kraftfahrzeugmotoren ist, eine präzise Motorverbrennungssteuerung zu verwirklichen. Zu diesem Zweck ist in der Motoranlaufphase eine sofortige Aktivierung des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlers von wesentlicher Bedeutung.

Das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement beginnt seinen Fühlerbetrieb erst dann, wenn die Temperatur seine Aktivierungstemperatur überschreitet. Es gibt eine erhebliche Totzeit, bis die Temperatur in der Motoranlaufphase die Aktivierungstemperatur erreicht. Damit eine derartige Totzeit entfällt, ist das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement im allgemeinen mit einem Heizelement ausgerüstet, um den Fühlerkörper so rasch wie möglich aufzuwärmen.

Um eine sofortige Aktivierung des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement zu realisieren, ist es wirkungsvoll, den Fühlerkörper zu verkleinern, damit die Gesamtwärmekapazität verringert wird. Allerdings ist eine Verkleinerung nur in gewissem Umfang möglich.

Beispielsweise können die Elektrodenfläche und die Dicke der Diffusionswiderstandsschicht nicht allzu sehr verkleinert werden, wenn die Fühlerfunktion beibehalten werden oder gewährleistet sein soll.

Bei Verwendung der Diffusionswiderstandsschicht kann sich darüber hinaus der Fühlerstrom im Ansprechen auf eine Schwankung der an das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement angelegten Versorgungsspannung ändern.

In Anbetracht dessen liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement zu schaffen, das eine kompakte Größe hat und dazu in der Lage ist, das Luft-Kraftstoff-Verhältnis ungeachtet einer Änderung der Temperatur oder der Versorgungsspannung genau zu erfassen.

Diese Aufgabe wird gemäß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung durch ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Patentanspruch 1 gelöst. Demnach umfaßt das Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement ein Festelektrolytsubstrat mit Sauerstoffionenleitfähigkeit, eine Meßgas-Fühlerelektrode, die derart auf einer Oberfläche des Festelektrolytsubstrats bereitgestellt ist, daß sie einem Meßgas ausgesetzt ist, eine Bezugsgas-Fühlerelektrode, die derart auf einer anderen Oberfläche des Festelektrolytsubstrats bereitgestellt ist, daß die Bezugsgas-Fühlerelektrode einem in eine Bezugsgaskammer eingeleiteten Bezugsgas ausgesetzt ist, und eine die Meßgas-Fühlerelektrode bedeckende poröse Diffusionswiderstandsschicht. Zudem ist zwischen der Meßgas-Fühlerelektrode und der porösen Diffusionswiderstandsschicht ein Hohlraum ausgebildet.

Weitere vorteilhafte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Unteransprüchen 2 bis 9 angegeben. Demnach weist der Hohlraum ein Volumen von 0,2 bis 3,0 mm<sup>3</sup> pro 10 mm<sup>2</sup> Flächeninhalt der Meßgas-Fühlerelektrode auf. Die poröse Diffusionswiderstandsschicht weist einen Porenanteil von 3 bis 15% auf. Zumindest ein Teil einer Oberfläche der porösen Diffusionswiderstandsschicht ist von einer Gasabschirmschicht bedeckt. Die Gasabschirmschicht ist an einer Stelle bereitgestellt, die der Meßgas-Fühlerelektrode gegenüberliegt. Die Gasabschirmschicht ist aus einer gasundurchlässigen Keramik hergestellt. Die Gasabschirmschicht erstreckt sich entlang einer Oberfläche der porösen Diffusionswiderstandsschicht in einer der Meßgas-Fühlerelektrode über die poröse Diffusionswiderstandsschicht hinweg gegenüberliegenden Weise, so daß das in die poröse Diffusi-

onswiderstandsschicht eingeleitete Meßgas parallel zu der Gasabschirmschicht strömt und über den Hohlraum die Meßgas-Fühlerelektrode erreicht. Der Hohlraum weist eine Höhe im Bereich von 20 bis 150 µm auf. Die poröse Diffusionswiderstandsschicht ist durch Auflaminierung einer Grünlage auf das Festelektrolytsubstrat (100) und Sinterung eines zu einem Schichtpaket zusammengefügteten Körpers angefertigt.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements nach Patentanspruch 10 bereitgestellt. Das Herstellungsverfahren umfaßt die Schritte Herstellen einer Vielzahl von Grünlagen, um ein Festelektrolytsubstrat, einen Abstandhalter und eine poröse Diffusionswiderstandsschicht anzufertigen, aufeinanderfolgendes Auflaminieren der Vielzahl von Grünlagen, um einen mehrlagigen Verbundkörper mit einem Hohlraum zwischen dem Festelektrolytsubstrat und der porösen Diffusionswiderstandsschicht auszubilden, und Sintern des mehrlagigen Verbundkörpers.

Darüber hinaus umfaßt das Herstellungsverfahren vorzugsweise den Schritt zusätzliches Auflaminieren einer als Gasabschirmschicht dienenden Grünlage auf der porösen Diffusionswiderstandsschicht, bevor der mehrlagigen Verbundkörper gesintert wird.

Weitere Ziele, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele. Die Beschreibung erfolgt anhand der beigefügten Zeichnungen, in der identische Teile durchweg mit den gleichen Bezugsziffern bezeichnet sind. Es zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittansicht einer Anordnung eines mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 eine auseinandergezogene Darstellung des in Fig. 1 gezeigten mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements;

Fig. 3A und Fig. 3B jeweils die Beziehung zwischen einer Emissionsgas-Fühlerelektrode und einem Hohlraum gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 4 eine Längsschnittansicht eines Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlers gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 5 eine grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Spannung, dem Strom und der Temperatur bei dem mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 6 eine grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Grenzstrom und der Temperatur bei dem mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 7 eine grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Spannung, dem Strom und der Temperatur bei einem zum Vergleich dienenden mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement;

Fig. 8 eine grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Grenzstrom und der Temperatur bei dem zum Vergleich dienenden mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement;

Fig. 9 eine grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Hohlraumvolumen und der Ansprechzeit des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 10 eine grafische Darstellung einer Stromänderung  $\Delta i$  gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 11 eine grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Hohlraumhöhe und der Stromänderung  $\Delta i$  gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 12 eine Querschnittansicht einer Anordnung eines

mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 13 eine Querschnittansicht einer Anordnung eines zum Vergleich dienenden mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements;

Fig. 14 eine grafische Darstellung des theoretischen Zusammenhangs zwischen der angelegten Spannung und dem sich ergebenden Strom bei jeweiligen Werten des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses (A/F) bei einem herkömmlichen mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement;

Fig. 15 eine grafische Darstellung des theoretischen Zusammenhangs zwischen dem Grenzstromwert und dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis (A/F) bei dem herkömmlichen mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement;

Fig. 16 eine Querschnittansicht des Emissionsgasstroms bei dem in Fig. 13 gezeigten zum Vergleich dienenden mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement; und

Fig. 17 eine Querschnittansicht des Emissionsgasstroms bei dem in Fig. 1 gezeigten mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement.

In Fig. 1 bis Fig. 6 und Fig. 9 bis Fig. 12 sind bevorzugte Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements gezeigt. Das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement läßt sich zur Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses eines Verbrennungsmotors in eine Motorauspuffleitung einbauen.

Wie in Fig. 1 und Fig. 2 gezeigt ist, umfaßt ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 ein Festelektrolytsubstrat 100 mit Sauerstoffionenleitfähigkeit, eine auf einer der Oberflächen des Festelektrolytsubstrats 100 bereitgestellte Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 und eine auf der anderen Oberfläche des Festelektrolytsubstrats 100 bereitgestellte Bezugsgas-Fühlerelektrode 12. Die Bezugsgas-Fühlerelektrode 12 ist einem in eine Bezugsgaskammer 150 eingeleiteten Bezugsgas ausgesetzt. Die Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 ist von einer porösen Diffusionswiderstandsschicht 13 bedeckt.

Zwischen der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 und der porösen Diffusionswiderstandsschicht 13 ist ein Hohlraum 10 bereitgestellt. Der Hohlraum 10, der einen geschlossenen Raum darstellt, weist eine Stirnfläche auf, die parallel zu der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 und geringfügig breiter als der Flächenbereich der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 ist. Senkrecht von der Oberfläche der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 aus gesehen steht jede Seite des Hohlraums 10, wie in Fig. 3A gezeigt ist, von der entsprechenden Seite der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 aus nach außen hin über. Daher überlappt sich die Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 vollständig mit dem Hohlraum 10.

Des mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 hat eine Längsseitenlänge von insgesamt 60 mm und eine Dicke von insgesamt 2 mm. Die Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 wie auch die Bezugsgas-Fühlerelektrode 12 weisen jeweils einen Flächeninhalt von 10 mm<sup>2</sup> auf. Das Festelektrolytsubstrat 100 hat eine Dicke von 160 µm und die poröse Diffusionswiderstandsschicht 13 eine Dicke von 200 µm. Das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 ist ausreichend kompakt, so daß sich die sofortige Aktivierung durchführen läßt.

Der Hohlraum 10 weist bei einer Höhe von 30 µm ein Volumen von 0,3 mm<sup>3</sup> auf.

Wie im einzelnen in Fig. 1 und Fig. 2 gezeigt ist, ist auf der Oberseite des Festelektrolytsubstrats 100 eine Isolierschicht 101 bereitgestellt. Die Isolierschicht 201 ist aus einem Aluminiumoxid hergestellt, das gasundurchlässig ist. Das Festelektrolytsubstrat 100 ist aus einem teilstabilisierten Zirkoniumoxid hergestellt. Die aus Platin hergestellte Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 ist auf der Oberseite der

Isolierschicht 101 bereitgestellt. Auf der Oberseite der Isolierschicht 101 sind des weiteren eine Leitung 111 und ein Anschluß 112 bereitgestellt, die mit der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 verbunden sind.

Auf dem Festelektrolytsubstrat 100, das mit der Isolierschicht 101, der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11, der Leitung 111 und dem Anschluß 112 zusammengegüßt ist, ist ein Abstandshalter 102 aufgeschichtet. Der Abstandshalter 102 ist aus einer Aluminiumoxidkeramik hergestellt, die ein elektrisch isolierendes und gasundurchlässiges Material ist. Der Abstandshalter 102 weist eine Öffnung 104 auf, die den Hohlraum 10 definiert.

Die poröse Diffusionswiderstandsschicht 13 ist auf dem Abstandshalter 102 aufgeschichtet. Die poröse Diffusionswiderstandsschicht 13 ist aus einer Aluminiumoxidkeramik hergestellt, die einen Porenanteil (d. h. eine Porosität) von 10% aufweist. Neben der Aluminiumoxidkeramik kann die poröse Diffusionswiderstandsschicht 13 auch aus einer anderen Keramik wie etwa Zirkoniumoxid oder einem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$ -Spinell hergestellt sein.

Auf der porösen Diffusionswiderstandsschicht 13 ist eine Gasabschirmschicht 14 aufgeschichtet. Die Gasabschirmschicht 14 ist aus einer Aluminiumoxidkeramik hergestellt, die die Gasabschirmvermögen besitzt.

Die Bezugsgas-Fühlerelektrode 12 ist auf einer gegenüberliegenden (d. h. tiefer gelegenen) Oberfläche des Festelektrolytsubstrats 100 bereitgestellt. Mit anderen Worten liegt die Bezugsgas-Fühlerelektrode 12 über das Festelektrolytsubstrat 100 hinweg der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 gegenüber. Die Bezugsgas-Fühlerelektrode 12 ist aus Platin hergestellt. Auf der Unterseite des Festelektrolytsubstrats 100 sind außerdem eine Leitung 121 und ein Anschluß 122 bereitgestellt, die mit der Bezugsgas-Fühlerelektrode 12 verbunden sind. Das Festelektrolytsubstrat 100 und die Isolierschicht 101 weisen jeweils Durchgangslöcher 108 und 109 auf. Die Durchgangslöcher 108 und 109 sind durchgehend und mit einem elektrisch leitenden Material gefüllt. Der Anschluß 122 ist über das in den Durchgangslöchern 108 und 109 eingefüllte leitende Material mit einem auf der Oberseite der Isolierschicht 101 bereitgestellten Anschluß 113 verbunden.

Auf der Unterseite des Festelektrolytsubstrats 100 ist ein Abstandshalter 15 bereitgestellt. Der Abstandshalter ist aus einer Aluminiumoxidkeramik hergestellt, die ein elektrisch isolierendes und gasundurchlässiges Material darstellt. Der Abstandshalter 15 weist eine längliche Vertiefung 151 auf, die die Bezugsgaskammer 150 definiert. Eine Längskantenmitte des Abstandshalters 15 ist als ein Paar vorstehender Abschnitte 165 gestaltet, die das Fühlerelement gemeinsam an einer vorbestimmten Position in dem Gehäuse fixieren (vgl. Fig. 4).

Auf der Unterseite des Abstandshalters 15 ist ein Heizelementssubstrat 16 bereitgestellt. Zwischen dem Abstandshalter 15 und dem Heizelementssubstrat 16 sind ein Heizelement 160 und ein Leitungspaar 161 angeordnet. Wenn über die Leitungen 161 ein elektrischer Strom zugeführt wird, erzeugt das Heizelement 160 Wärme.

Das Heizelementssubstrat 16 weist Durchgangslöcher 164 auf, die mit einem elektrisch leitendem Material gefüllt sind. Die Leitungen 161 sind über das in die Durchgangslöcher 164 eingefüllte leitende Material mit auf einer gegenüberliegenden Oberfläche des Heizelementssubstrats 16 bereitgestellten Anschlüssen 163 verbunden.

In Fig. 4 ist ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühler 2 gezeigt, bei dem das vorstehend beschriebene mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 eingebaut ist. Der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühler 2 umfaßt ein Metallgehäuse 20, eine Doppelabdeckung 21, die derart an einem

Vorderende des Metallgehäuses 20 befestigt ist, daß sie dem Emissionsgas ausgesetzt ist, das in einer (nicht gezeigten) Abgasleitung eines (nicht gezeigten) Verbrennungsmotors strömt, und eine Außenluftabdeckung 22, die an einem gegenüberliegenden Ende des Metallgehäuses 20 befestigt ist. Das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 ist in dem Metallgehäuse 20 untergebracht.

Der Innenraum der Doppelabdeckung 21 dient als eine Emissionsgaskammer 210. Die Doppelabdeckung 21 weist zahlreiche Löcher 211 auf, um das Emissionsgas in die Emissionsgaskammer 210 einzuleiten.

Die Außenluftabdeckung 22 weist zahlreiche Löcher 220 auf, um über den Innenraum der Außenluftabdeckung 22 das Bezugsgas (d. h. Luft) zu der Bezugsgaskammer 150 des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements 1 einzuleiten.

Als nächstes wird das Herstellungsverfahren des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements 1 erläutert.

Zunächst werden Grünlagen hergestellt, um das Heizelementssubstrat 16, das Festelektrolytsubstrat 100, den Abstandshalter 102, die poröse Diffusionswiderstandsschicht 13 und die Gasabschirmschicht 14 anzufertigen. Die Grünlagen werden mittels des Schabermesserverfahrens oder des Extrusionsverfahrens ausgebildet. Der Abstandshalter 15 wird mittels Spritzguß angefertigt. Allerdings ist es auch möglich, daß der Abstandshalter 15 ausgebildet wird, indem auf einer durch das Schabermesserverfahren oder das Extrusionsverfahren ausgebildeten Grünlage eine Vertiefung ausgenommen wird.

Jede Grünlage wird gemäß einer Form ausgestaltet, die im wesentlichen mit der in Fig. 2 gezeigten identisch ist. Die Grünlage schrumpft etwas, wenn sie gesintert wird. Die Größe der Grünlage ist daher so ausgelegt, daß sie etwas größer als die Größe des gesinterten Endprodukts ist.

Als nächstes wird eine Aluminiumoxidpaste auf die Grünlage des Festelektrolytsubstrats 100 aufgedruckt, um die Isolierschicht 101 auszubilden. Dann wird eine Platinpaste auf die Isolierschicht 101 und auf die gegenüberliegende Oberfläche des Festelektrolytsubstrats 100 aufgedruckt, um die Emissionsgas-Fühlerelektrode 11, die Bezugsgas-Fühlerelektrode 12, die Leitungen 111, 121 und die Anschlüsse 112, 122 auszubilden.

Auf die Grünlage des Heizelementssubstrats 16 wird eine Wolfram- oder Platinpaste aufgedruckt, um die Heizelemente 160 und die Leitungen 161 auszubilden.

Die Platinpaste wird auf die Isolierschicht 101 aufgedruckt, um den Anschluß 113 auf der gleichen Oberfläche wie die Leitung 111 und den Anschluß 112 auszubilden.

Dann werden die angefertigten Grünlagen wie in Fig. 1 gezeigt als mehrlagiger Verbundkörper zu einem Schichtpaket zusammengefügt und unter Druck bei einer Temperatur von etwa 1500°C bis 1600°C gesintert. Auf diese Weise wird als Endprodukt das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 erhalten, das sich in einen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerkörper einbauen läßt.

Die Funktion des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements gemäß dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde im Vergleich mit einem Vergleichsbeispiel beurteilt, das in Fig. 13 gezeigt ist.

Das in Fig. 13 gezeigte zum Vergleich dienende mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 9 weist mit Ausnahme des Hohlraums 10 die gleiche Anordnung wie das in Fig. 1 gezeigte mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 auf. Das heißt, daß das zum Vergleich dienende Fühlerelement 9 keinen Abstandshalter 102 aufweist, der die den Hohlraum 10 definierende Öffnung 104 besitzt.

Für die Vergleichsversuche wurden die mehrlagigen Luft-

Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelemente 1 und 9 jeweils in den in Fig. 4 gezeigten Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühler 2 eingesetzt. Der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühler 2 wurde in die Abgasleitung eines bei einem konstanten Luft-Kraftstoff-Verhältnis betriebenen Verbrennungsmotors eingebaut. An den Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühler 2 wurde eine Gleichstromversorgung angeschlossen, um dem eingebauten Heizelement 160 elektrische Energie zuzuführen. Das Fühlerelement wurde auf diese Weise auf einer gewünschten Aktivierungstemperatur gehalten.

Als nächstes wurde zwischen den Anschlüssen 112 und 113 jedes Fühlerelements ein Oszillator angeschlossen. Zwischen den Anschlüssen 112 und 113 wurde ein Spannung von 10–100 mHz mit einer Sägezahn- oder Sinuswellenform angelegt. In Fig. 5 bis Fig. 8 sind die Meßdaten gezeigt, die anhand der Vergleichsversuche erhalten wurden.

In Fig. 5 und Fig. 7 ist jeweils der Zusammenhang zwischen der an das Fühlerelement angelegten Spannung und einem sich ergebenden Fühlerstrom gezeigt. Der Fühlerstrom wird zwischen der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 und der Bezugsgas-Fühlerelektrode 12 gemessen.

In Fig. 6 und Fig. 8 sind jeweils die Grenzstromwerte gezeigt, die bei Temperaturen von 750°C beziehungsweise 800°C gemessen werden, wenn die angelegte Spannung konstant ist (0,3 V).

Fig. 5 und Fig. 6 beziehen sich auf das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 mit der erfindungsgemäßen Anordnung. Wie aus Fig. 5 und Fig. 6 hervorgeht, konnte bestätigt werden, daß es einen deutlich erkennbaren flachen Grenzstrombereich gibt, in dem der Fühlerstrom ungeachtet des Anstiegs der an das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 angelegten Spannung konstant bleibt. Der Grenzstromwert ist unabhängig von der Temperaturänderung konstant.

Fig. 7 und Fig. 8 beziehen sich auf das zum Vergleich dienende mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 9. Wie aus Fig. 7 und Fig. 8 hervorgeht, konnte bestätigt werden, daß es keinen flachen Grenzstrombereich gibt und daß sich der Grenzstromwert entsprechend der Temperaturänderung ändert.

Aus den in Fig. 5 bis Fig. 9 gezeigten Meßdaten geht hervor, daß indem der Hohlraum 10 bereitgestellt wird, der flache Grenzstrombereich sicher erhalten wird.

Nachstehend werden nun die Arbeitsweise und Wirkungen des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements erläutert.

Das Emissionsgas erreicht den Hohlraum 10 über die poröse Diffusionswiderstandsschicht 13. Das Emissionsgas wird an der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 ionisiert, was den Sauerstoffionenstrom hervorruft. In diesem Fall wird das Emissionsgas in dem Hohlraum 10 gleichmäßig gemischt. Mit anderen Worten schwankt die Sauerstoffgaskonzentration in der Nähe der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 nicht.

Erfindungsgemäß wird daher ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 zur Verfügung gestellt, das zwischen der angelegten Spannung und dem Fühlerstrom einen optimierten Zusammenhang aufweist. Wie in Fig. 5 gezeigt ist, tritt deutlich der flache Grenzstrombereich mit dem zu dem gemessenen Luft-Kraftstoff-Verhältnis proportionalen Grenzstromwert auf. Somit läßt sich eine genaue Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses durchführen.

Die Diffusionsgeschwindigkeit in der Diffusionswiderstandsschicht 13 ist weniger stark von der Temperatur abhängig, da die Diffusionswiderstandsschicht 13 aus einem porösen Material hergestellt ist. Wie in Fig. 6 gezeigt ist, verändert sich im Ansprechen auf die Temperaturänderung der Grenzstromwert nur selten.

Wie vorstehend beschrieben ist, hat das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 eine kompakte Größe. Die Dicke der porösen Diffusionswiderstandsschicht 13 beträgt 200 µm, was sehr dünn ist. Jedoch wird das Emissionsgas vorübergehend in dem Hohlraum 10 gespeichert. Dies sorgt wirksam für den flachen Grenzstrombereich.

Auf diese Weise wird durch die Erfindung ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement zur Verfügung gestellt, das eine kompakte Größe hat und dazu in der Lage ist, das Luft-Kraftstoff-Verhältnis unabhängig von einer Änderung der Temperatur oder der Versorgungsspannung genau zu messen.

Der Zusammenhang zwischen dem Volumen des Hohlraums 10 und der Ansprechzeit des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements 1 wurde ebenfalls beurteilt.

Zwischen den Anschlüssen 112 und 113 des in den Motorauspuffleitung eingebauten Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlers wurde eine Gleichspannung zur Erzeugung des Grenzstrombereichs angelegt. Unter dieser Bedingung wurde das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Verbrennungsmotors schrittweise geändert, um die Änderung des Fühlerstroms zu messen. In Fig. 9 ist das Meßergebnis gezeigt. Auf der Abszisse in Fig. 9 ist das Volumen des Hohlraums pro 10 mm<sup>2</sup> Flächeninhalt der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 angegeben.

Anhand von Fig. 9 läßt sich bestätigen, daß das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement eine angemessene Ansprechzeit zur Steuerung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des Verbrennungsmotors aufweist, wenn das Volumen des Hohlraums 10 kleiner gleich 3 mm<sup>3</sup> pro 10 mm<sup>2</sup> Flächeninhalt der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 beträgt.

Wenn die Ansprechzeit lang ist, wird die Motorverbrennungssteuerung deutlich verzögert. Sowohl die Kraftstoffersparnis als auch der Emissionsreinigungswirkungsgrad sind schlechter.

Als nächstes wurde bei dem mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 der Zusammenhang zwischen der Höhe des Hohlraums 10 und  $\Delta i$  gemessen. In diesem Fall stellt  $\Delta i$ , wie in Fig. 10 gezeigt ist, eine Stromänderung im Ansprechen auf eine 0,4 V starke Änderung (von 0,3 V bis 0,7 V) der an das mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement 1 angelegten Spannung dar. Die Höhe des Hohlraums 10 ist wie in Fig. 1 gezeigt gleich dem Abstand zwischen der Oberseite der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 und der Unterseite der porösen Diffusionswiderstandsschicht 13.

In Fig. 11 ist der Zusammenhang zwischen der Höhe des Hohlraums 10 und der Stromänderung  $\Delta i$  gezeigt, die unter den Versuchsbedingungen, daß die Elementtemperatur auf 750°C gehalten wird und zwischen den Anschlüssen 112 und 113 durch den Oszillator die Spannung von 10–100 mHz mit einer Sägezahn- oder Sinuswellenform angelegt ist, durch Messung des sich ergebenden Fühlerstroms erhalten wird.

Wie aus Fig. 11 hervorgeht, beträgt die Stromänderung  $\Delta i$  weniger als 0,02 mA, wenn die Höhe des Hohlraums größer gleich 20 µm ist. Mit anderen Worten konnte bestätigt werden, daß ein angemessener flacher Grenzstrombereich erhalten werden kann, wenn die Hohlraumhöhe größer gleich 20 µm ist.

Die Stromänderung  $\Delta i$  nimmt schlagartig zu, wenn die Höhe des Hohlraums 10 kleiner als 20 µm ist. In diesem Fall ist der Grenzstrombereich nicht mehr flach. Die Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Meßgenauigkeit verschlechtert sich.

Gemäß dem obengenannten Ausführungsbeispiel ist auf der porösen Diffusionswiderstandsschicht die Gasabschirmschicht 14 bereitgestellt. Allerdings lassen sich die Arbeits-

weise und die Wirkungen der Erfindung auch dann erreichen, wenn die Gasabschirmschicht wie in Fig. 12 gezeigt weggelassen ist.

Wie in Fig. 3B gezeigt ist, ist es darüber hinaus möglich, den Flächenbereich der Emissionsgas-Fühlerelektrode 11 mit der Stirnfläche des Hohlraums 10 vollkommen gleichzusetzen.

Wie vorstehend beschrieben ist, wird gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement bereitgestellt, daß das Festelektrolytsubstrat mit Sauerstoffionenleitfähigkeit umfaßt. Die Meßgas-Fühlerelektrode (d. h. die Emissionsgas-Fühlerelektrode) ist auf einer Oberfläche des Festelektrolytsubstrats bereitgestellt, derart daß sie dem Meßgas ausgesetzt ist. Die Bezugsgas-Fühlerelektrode ist auf einer anderen Oberfläche des Festelektrolytsubstrats bereitgestellt, derart daß die Bezugsgas-Fühlerelektrode dem in die Bezugsgaskammer eingeleiteten Bezugsgas ausgesetzt ist. Die Meßgas-Fühlerelektrode ist von der porösen Diffusionswiderstandsschicht bedeckt. Darüber hinaus ist das erfindungsgemäße mehrlagige Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Meßgas-Fühlerelektrode und der porösen Diffusionswiderstandsschicht der Hohlraum ausgebildet ist.

Die Stirnfläche des Hohlraums, die sich parallel zu der Meßgas-Fühlerelektrode erstreckt, ist im wesentlichen identisch wie oder leicht breiter als der Flächenbereich der Meßgas-Fühlerelektrode. Von der zu der Oberfläche der in Fig. 3A und Fig. 3B gezeigten Meßgas-Fühlerelektrode senkrechten Richtung aus gesehen wird die Meßgas-Fühlerelektrode vollständig von dem Hohlraum überlappt.

Aufgrund dieser Anordnung strömt das Emissionsgas über die poröse Diffusionswiderstandsschicht in den Hohlraum und wird in dem Hohlraum vor Erreichen der Meßgas-Fühlerelektrode gemischt.

Bei dem in Fig. 13 gezeigten Vergleichsbeispiel erreicht das in der porösen Diffusionswiderstandsschicht strömende Emissionsgas die Meßgas-Fühlerelektrode mit unterschiedlicher Zeitverzögerung, die davon abhängt, wo jeder Emissionsgasstrom im einzelnen auftritt (vgl. Fig. 16). Dementsprechend bildet sich entlang der Oberfläche der Meßgas-Fühlerelektrode eine unerwünschte Verteilung der Meßgaskonzentration.

Erfindungsgemäß wird dagegen, wie in Fig. 17 gezeigt ist, das Meßgas vorübergehend in dem Hohlraum gespeichert, bevor das Meßgas die Meßgas-Fühlerelektrode erreicht. Mit anderen Worten dient der Hohlraum als ein Puffer zur vorübergehenden Speicherung des Meßgases und gleichmäßigen Mischung des Meßgases. Daher entfällt die unerwünschte Verteilung der Meßgaskonzentration. In der Nähe der Meßgas-Fühlerelektrode schwankt die Meßgaskonzentration nicht. Durch die Erfindung wird dementsprechend ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement zur Verfügung gestellt, das zwischen der angelegten Spannung und dem Fühlerstrom einen optimierten Zusammenhang aufweist. Wie in Fig. 5 gezeigt ist, erscheint deutlich der flache Grenzstrombereich mit dem zu dem gemessenen Luft-Kraftstoff-Verhältnis proportionalen Grenzstromwert. Somit läßt sich das Luft-Kraftstoff-Verhältnis genau messen.

Die poröse Diffusionswiderstandsschicht ist vorzugsweise aus einer Keramik hergestellt, die aus einer aus Aluminiumoxid, Zirkoniumoxid und  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ -Spinell bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

Wie in Fig. 11 gezeigt ist, ist es darüber hinaus vorzuziehen, daß der Hohlraum eine Höhe im Bereich von 20  $\mu\text{m}$  bis 150  $\mu\text{m}$  aufweist. Wenn die Höhe (d. h. der Zwischenraum zwischen der Meßgas-Fühlerelektrode und der porösen Dif-

fusionswiderstandsschicht) geringer als 20  $\mu\text{m}$  ist, ist es schwierig, einen flachen Grenzstrombereich zu erhalten. Wenn die Höhe größer als 150  $\mu\text{m}$  ist, verschlechtert sich das Ansprechverhalten des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements.

Es ist vorzuziehen, daß das Volumen des Hohlraums 0,2 bis 3,0  $\text{mm}^3$  pro 10  $\text{mm}^2$  Flächeninhalt der Meßgas-Fühlerelektrode beträgt.

Wenn das Hohlraumvolumen weniger als 0,2  $\text{mm}^3$  beträgt, können sich die Wirkungen der Erfindung nicht einstellen. Wenn das Hohlraumvolumen größer als 3,0  $\text{mm}^3$  ist, verschlechtert sich das Ansprechverhalten des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements. Das erforderliche Volumen des Hohlraums erhöht sich mit zunehmendem Flächeninhalt der Meßgas-Fühlerelektrode.

Es ist außerdem vorzuziehen, daß die poröse Diffusionswiderstandsschicht einen Porenanteil von 3 bis 15% aufweist.

Wenn der Porenanteil weniger als 3% beträgt, kann das Meßgas nicht einwandfrei in der porösen Diffusionswiderstandsschicht strömen. Die in den Hohlraum eingeleitete Meßgasmenge ist unzureichend, um das Luft-Kraftstoff-Verhältnis genau zu messen. Das Ansprechverhalten des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements verschlechtert sich. Wenn der Porenanteil mehr als 15% beträgt, wird der sich ergebende Stromwert verglichen mit der Gasionenpumpfähigkeit der Meßgas-Fühlerelektrode übermäßig groß. Der sich ergebende Grenzstrombereich ist nicht flach.

Darüber hinaus ist es vorzuziehen, daß zumindest ein Teil der Oberfläche der porösen Diffusionswiderstandsschicht von der Gasabschirmschicht bedeckt ist. Mit Bereitstellung der Gasabschirmschicht kann das in den Hohlraum eingeleitete Meßgas auf angemessene Weise begrenzt werden. Mit anderen Worten ergibt sich die Möglichkeit, den Grenzstromwert des mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements zu steuern. Das Fühlerelement kann verkleinert werden, ohne die sofortige Aktivierungsfähigkeit zu opfern.

Des weiteren ist es vorzuziehen, daß die Gasabschirmschicht an einer der Meßgas-Fühlerelektrode gegenüberliegenden Stelle bereitgestellt ist. Die Gasabschirmschicht reguliert auf angemessene Weise den Strom des Meßgases in der porösen Diffusionswiderstandsschicht. Das Meßgas diffundiert in Querrichtung entlang der Gasabschirmschicht. Es ergibt sich die Möglichkeit, den Grenzstromwert durch einfaches Ändern der Dicke der Diffusionswiderstandsschicht und der Breite des Fühlerelements zu steuern.

Ferner ist es vorzuziehen, daß die Gasabschirmschicht aus einer gasundurchlässigen Keramik hergestellt ist. Die aus Keramik hergestellte Gasabschirmschicht kann gemeinsam mit dem Fühlerelement gesintert werden. Dadurch läßt sich das Herstellungsverfahren vereinfachen. Die Beständigkeit des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlers verbessert sich.

Des weiteren ist es vorzuziehen, daß sich die Gasabschirmschicht entlang der Oberfläche der porösen Diffusionswiderstandsschicht in einer der Meßgas-Fühlerelektrode über die poröse Diffusionswiderstandsschicht hinweg gegenüberliegenden Weise erstreckt. Bei dieser Anordnung strömt das in die poröse Diffusionswiderstandsschicht eingeleitete Meßgas parallel zu der Gasabschirmschicht und erreicht über den Hohlraum die Meßgas-Fühlerelektrode.

Die poröse Diffusionswiderstandsschicht kann angefertigt werden, indem auf das Festelektrolytsubstrat eine Grundlage aufaminiert und der zu einem Schichtpaket zusammengefügte Körper gesintert wird.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines mehrlagigen Luft-Kraft-

stoff-Verhältnis-Fühlerelements bereitgestellt. In einem ersten Schritt wird eine Vielzahl von Grünlagen hergestellt, um das Festelektrolytsubstrat, den Abstandshalter und die poröse Diffusionswiderstandsschicht anzufertigen. In einem zweiten Schritt wird aufeinanderfolgend die Vielzahl von Grünlagen auflaminiert, um einen mehrlagigen Verbundkörper mit einem Hohlraum zwischen dem Festelektrolytsubstrat und der porösen Diffusionswiderstandsschicht auszubilden. In einem dritten Schritt wird der mehrlagige Verbundkörper gesintert.

Auf diese Weise wird ein mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement erhalten, das ein Festelektrolytsubstrat mit Sauerstoffionenleitfähigkeit umfaßt. An einer der Oberflächen des Festelektrolytsubstrats ist eine Meßgas-Fühlerelektrode bereitgestellt, derart daß sie einem Meßgas ausgesetzt ist. An einer anderen Oberfläche des Festelektrolytsubstrats ist eine Bezugsgas-Fühlerelektrode bereitgestellt, derart daß die Bezugsgas-Fühlerelektrode einem in eine Bezugsgaskammer eingeleiteten Bezugsgas ausgesetzt ist. Die Meßgas-Fühlerelektrode ist von einer porösen Diffusionswiderstandsschicht bedeckt. Außerdem ist zwischen der Meßgas-Fühlerelektrode und der porösen Diffusionswiderstandsschicht ein Hohlraum ausgebildet.

Darüber hinaus umfaßt das Herstellungsverfahren vorzugsweise einen Schritt, bei dem auf der porösen Diffusionswiderstandsschicht zusätzlich die als die Gasabschirmschicht dienende Grünlage auflaminiert wird, bevor der mehrlagige Verbundkörper gesintert wird.

#### Patentansprüche

1. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement, mit:  
einem Festelektrolytsubstrat (100) mit Sauerstoffionenleitfähigkeit;  
einer Meßgas-Fühlerelektrode (11), die derart auf einer Oberfläche des Festelektrolytsubstrats (100) bereitgestellt ist, daß sie einem Meßgas ausgesetzt ist;  
einer Bezugsgas-Fühlerelektrode (12), die derart auf einer anderen Oberfläche des Festelektrolytsubstrats (100) bereitgestellt ist, daß die Bezugsgas-Fühlerelektrode (12) einem in eine Bezugsgaskammer (150) eingeleiteten Bezugsgas ausgesetzt ist; und  
einer porösen Diffusionswiderstandsschicht (13), die die Meßgas-Fühlerelektrode (11) bedeckt, **dadurch gekennzeichnet**, daß  
zwischen der Meßgas-Fühlerelektrode (11) und der porösen Diffusionswiderstandsschicht (13) ein Hohlraum (10) ausgebildet ist.
2. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Anspruch 1, wobei der Hohlraum (10) ein Volumen von 0,2 bis 3,0 mm<sup>3</sup> pro 10 mm<sup>2</sup> Flächeninhalt der Meßgas-Fühlerelektrode (11) aufweist.
3. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Anspruch 1 oder 2, wobei die poröse Diffusionswiderstandsschicht (13) einen Porenanteil von 3 bis 15% aufweist.
4. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei zumindest ein Teil einer Oberfläche der porösen Diffusionswiderstandsschicht (13) von einer Gasabschirmschicht (14) bedeckt ist.
5. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Anspruch 4, wobei die Gasabschirmschicht (14) an einer der Meßgas-Fühlerelektrode (11) gegenüberliegenden Stelle bereitgestellt ist.
6. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Gasabschirm-

schicht (14) aus einer gasundurchlässigen Keramik hergestellt ist.

7. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Anspruch 4, wobei sich die Gasabschirmschicht (14) entlang einer Oberfläche der porösen Diffusionswiderstandsschicht (13) in einer der Meßgas-Fühlerelektrode (11) über die poröse Diffusionswiderstandsschicht (13) hinweg gegenüberliegenden Weise erstreckt, so daß das in die poröse Diffusionswiderstandsschicht (13) eingeleitete Meßgas parallel zu der Gasabschirmschicht (14) strömt und über den Hohlraum (10) die Meßgas-Fühlerelektrode (11) erreicht.

8. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Anspruch 1, wobei der Hohlraum (10) eine Höhe im Bereich von 20 bis 150 µm aufweist.

9. Mehrlagiges Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelement nach Anspruch 1, wobei die poröse Diffusionswiderstandsschicht (13) durch Auflaminierung einer Grünlage auf dem Festelektrolytsubstrat (100) und Sinterung eines zu einem Schichtpaket zusammengefügtten Körpers angefertigt ist.

10. Verfahren zur Herstellung eines mehrlagigen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Fühlerelements, mit den Schritten:

Herstellen einer Vielzahl von Grünlagen, um ein Festelektrolytsubstrat (100), einen Abstandshalter (102) und eine poröse Diffusionswiderstandsschicht (13) anzufertigen;

aufeinanderfolgendes Auflaminieren der Vielzahl von Grünlagen, um einen mehrlagigen Verbundkörper mit einem Hohlraum (10) zwischen dem Festelektrolytsubstrat (100) und der porösen Diffusionswiderstandsschicht (13) auszubilden; und  
Sintern des mehrlagigen Verbundkörpers.

11. Herstellungsverfahren nach Anspruch 10, mit dem Schritt zusätzliches Auflaminieren einer als Gasabschirmschicht (14) dienenden Grünlage auf der porösen Diffusionswiderstandsschicht (13), bevor der mehrlagige Verbundkörper gesintert wird.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

**FIG. 1**

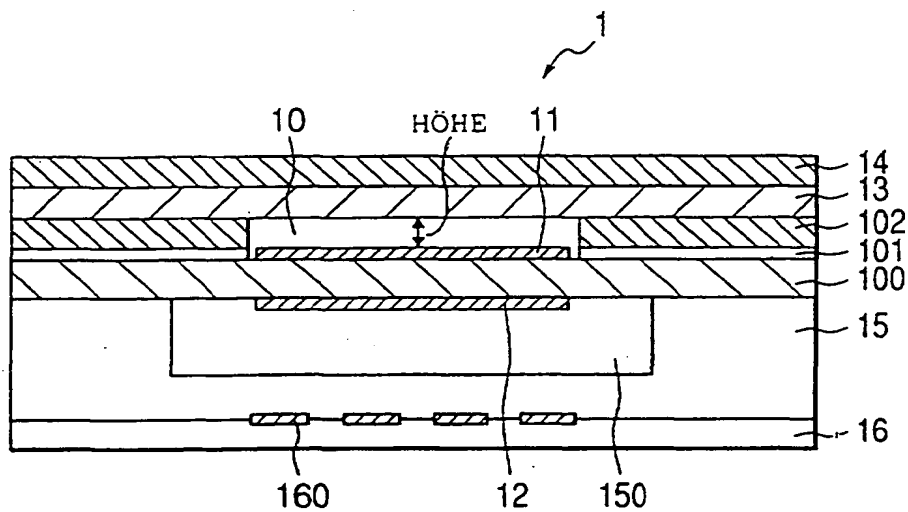
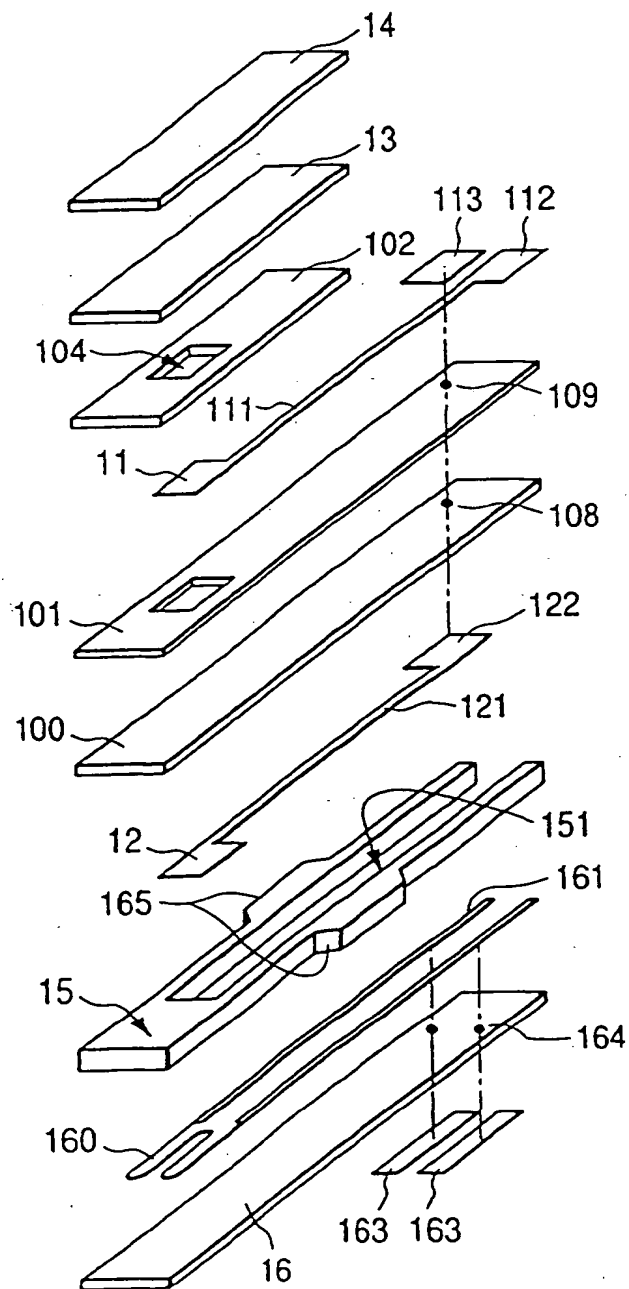
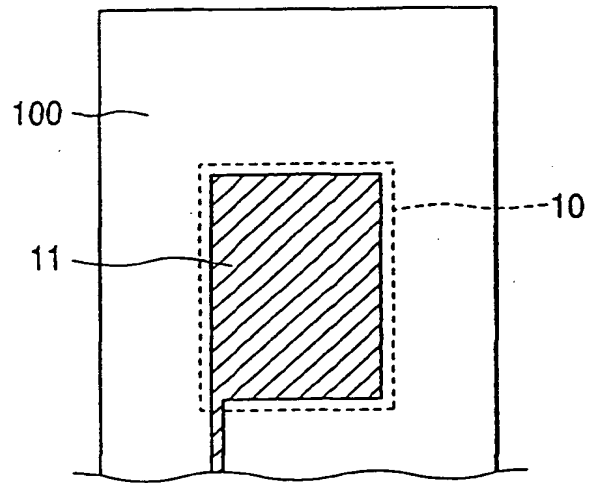




FIG. 2



*FIG. 3A*



*FIG. 3B*

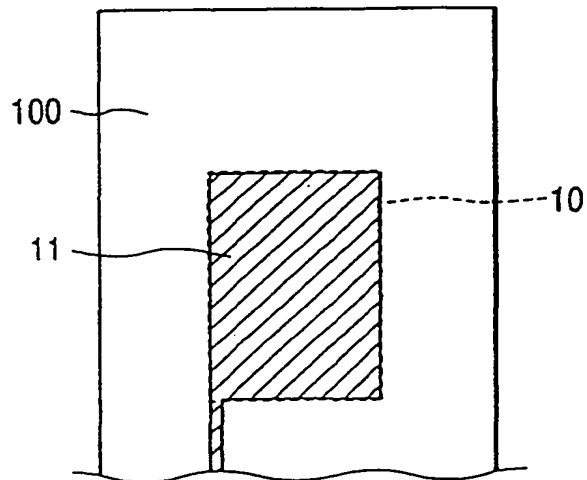


FIG. 4

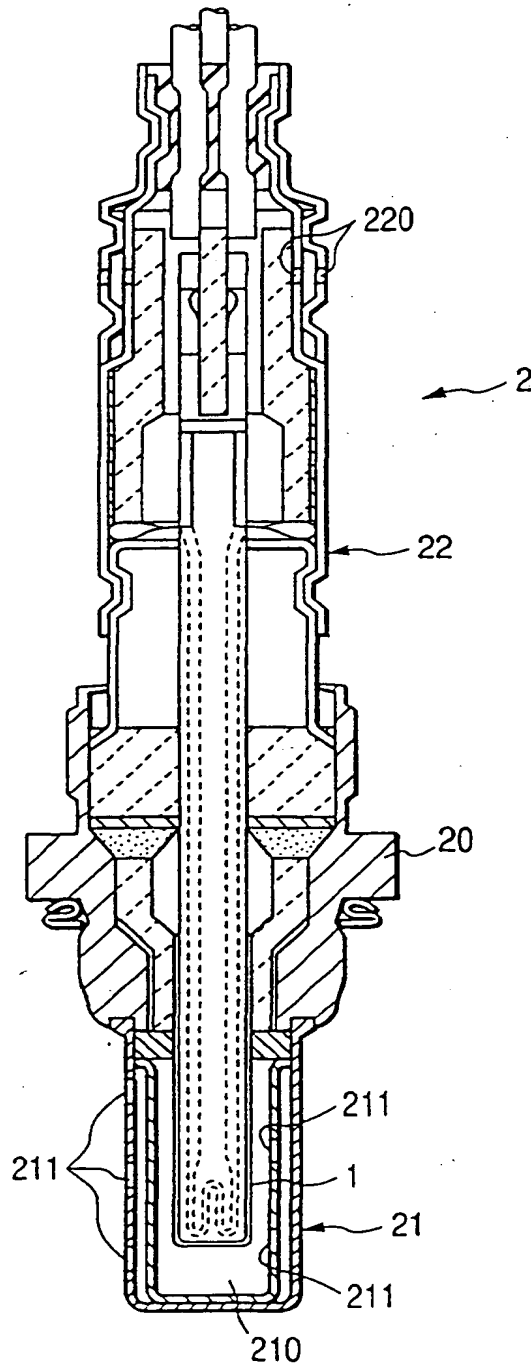


FIG. 5

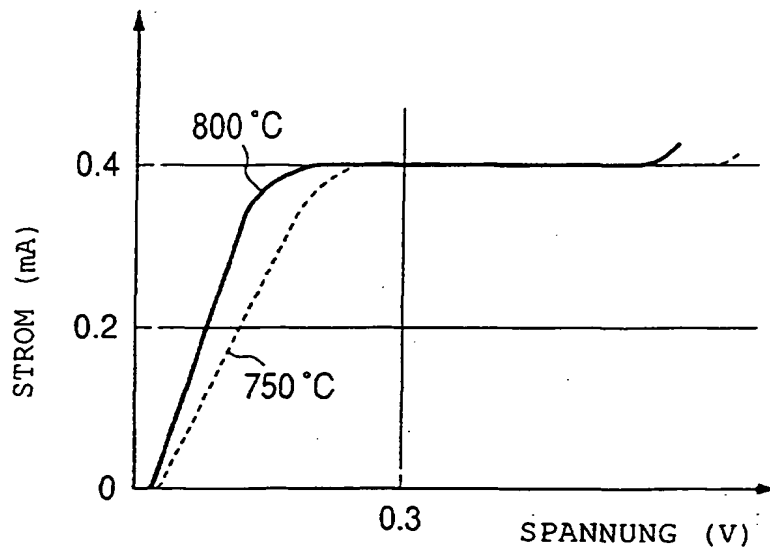
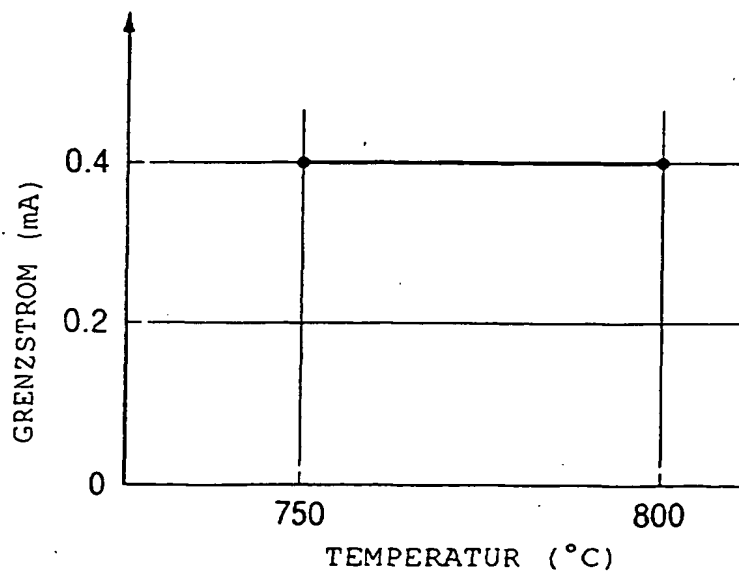
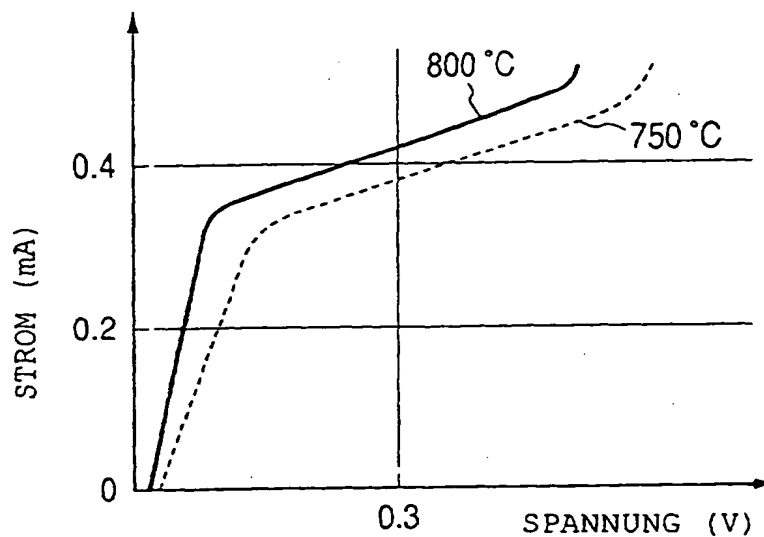


FIG. 6



**FIG. 7**  
**VERGLEICHSBEISPIEL**



**FIG. 8**  
**VERGLEICHSBEISPIEL**

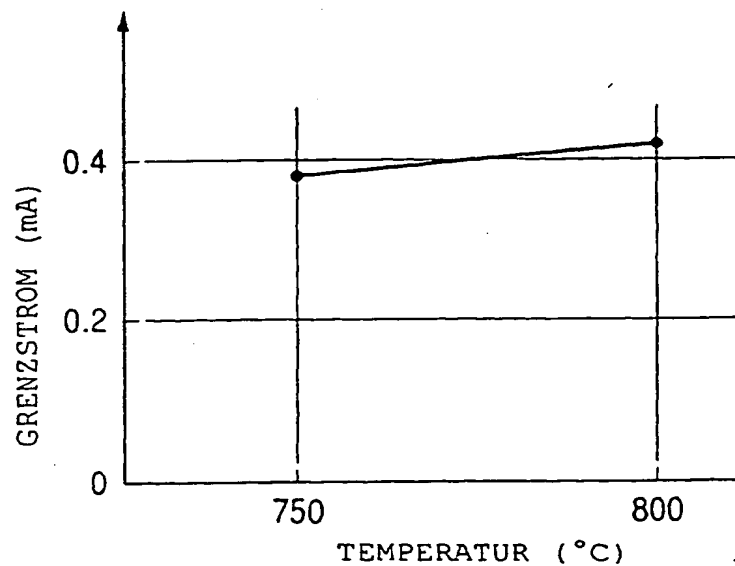


FIG. 9

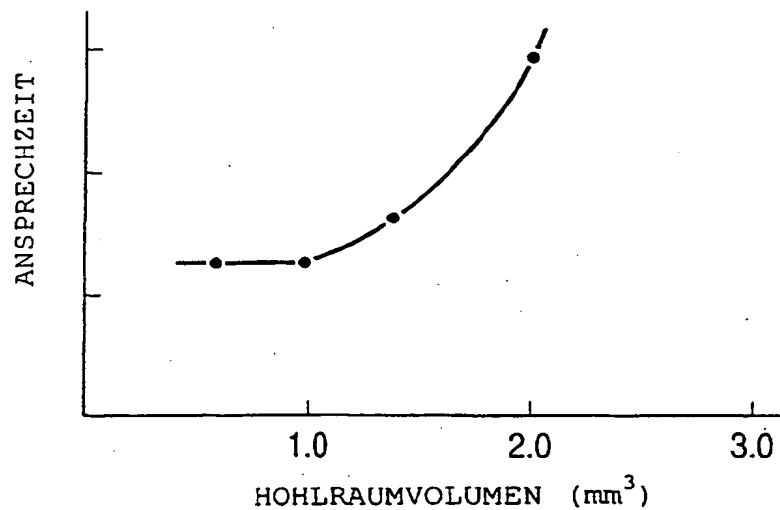


FIG. 10

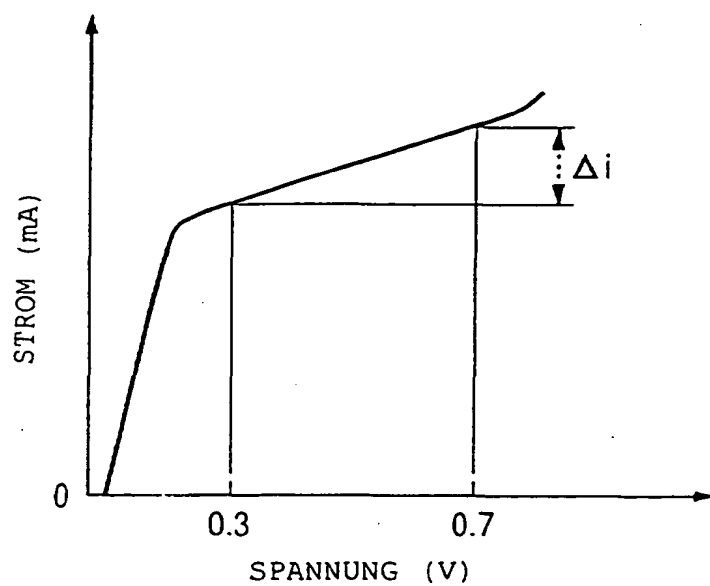
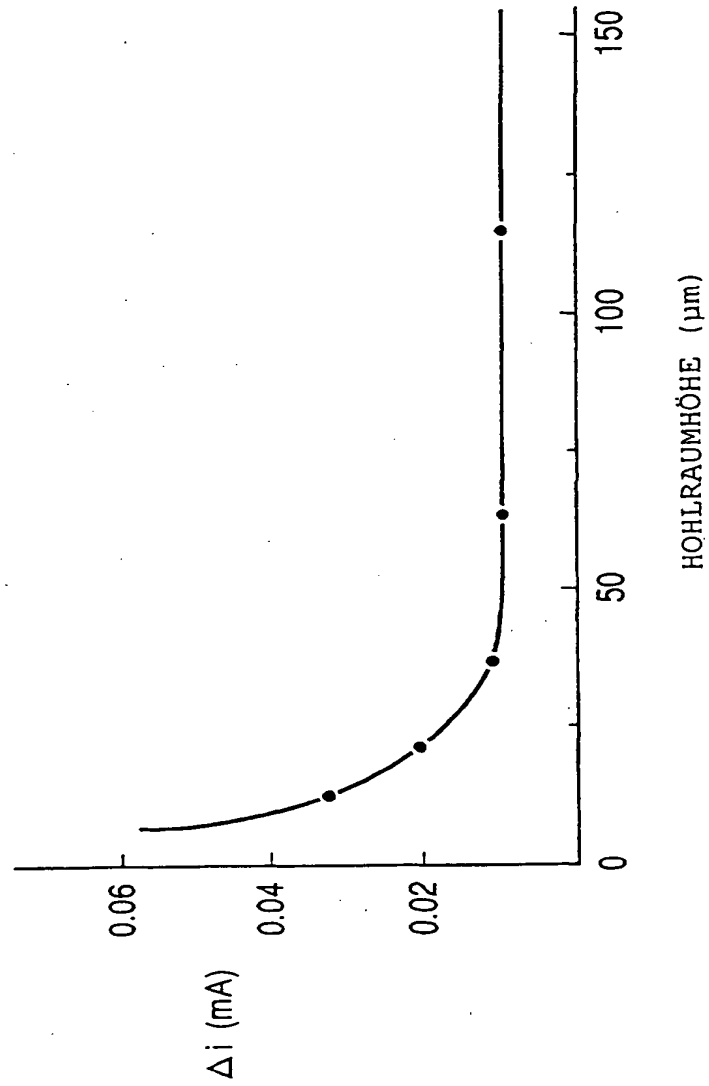
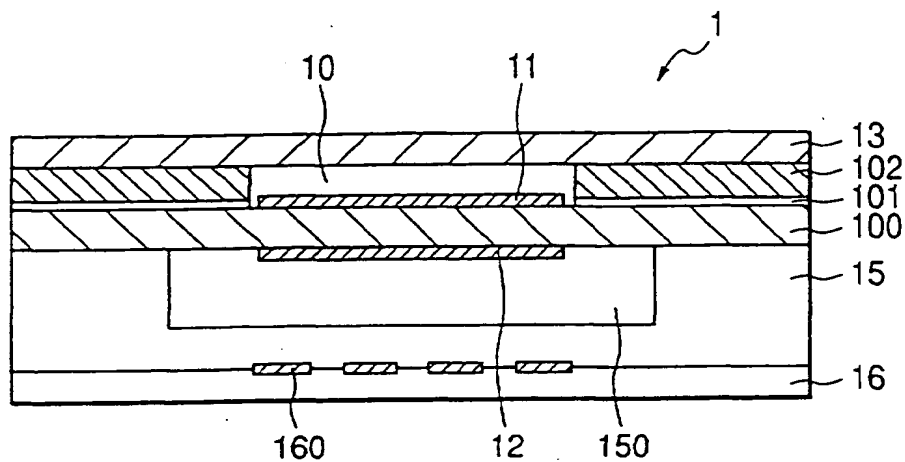


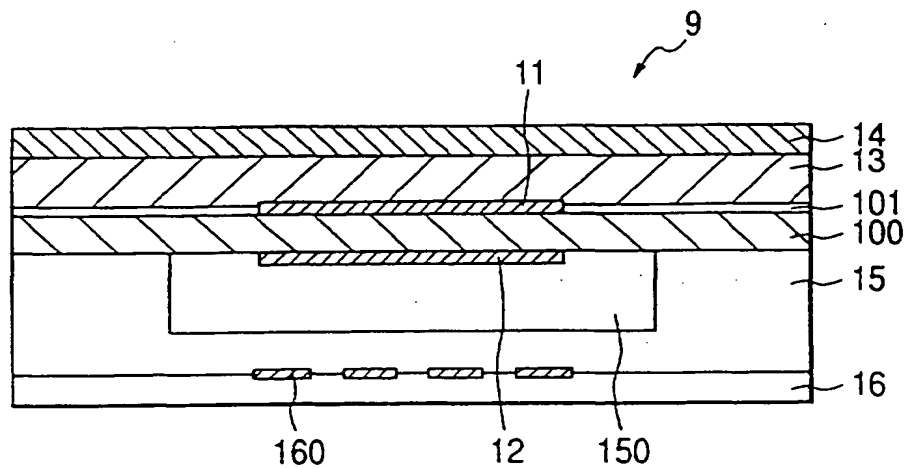
FIG. 11



**FIG. 12**

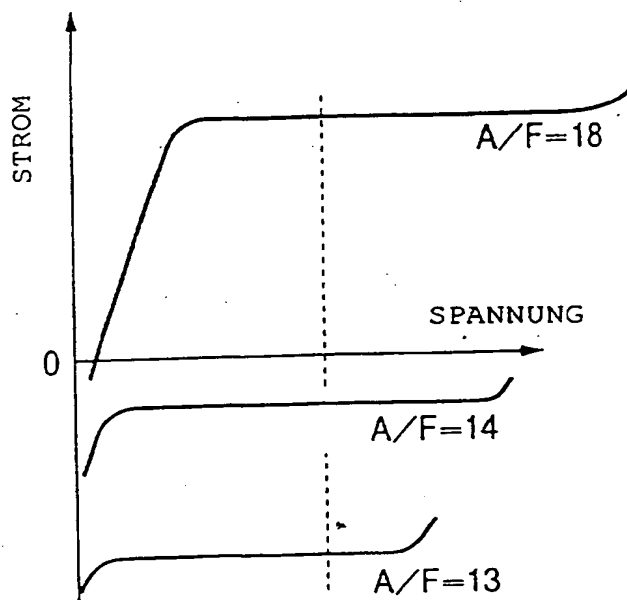


**FIG. 13**  
**VERGLEICHSBEISPIEL**

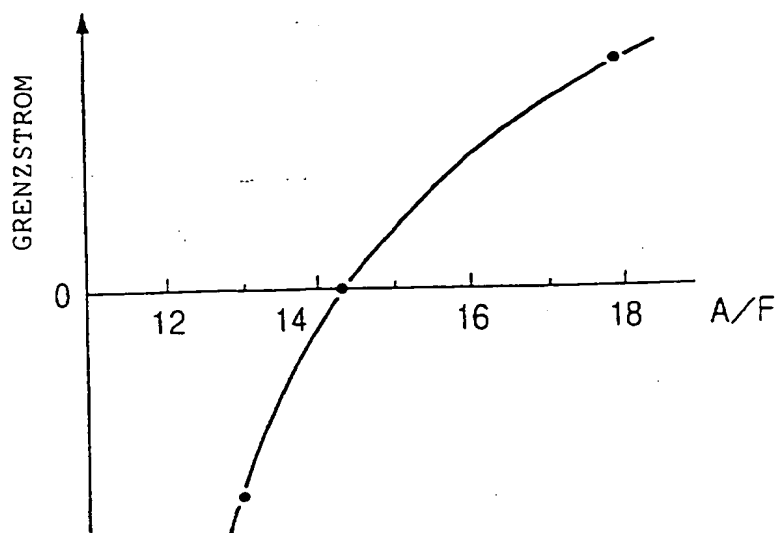




**FIG. 14**  
**STAND DER TECHNIK**



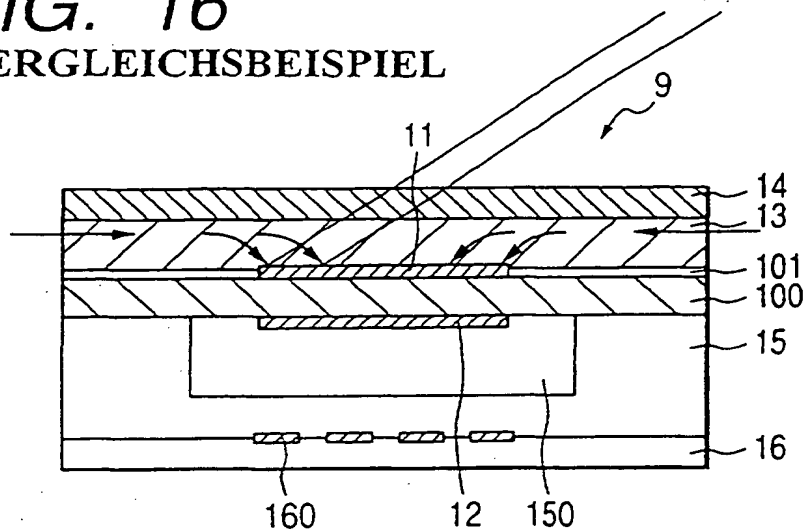
**FIG. 15**  
**STAND DER TECHNIK**



**FIG. 16**

VERGLEICHSBEISPIEL

ANKUNFT MIT UNTERSCHIEDLICHER  
ZEITVERZÖGERUNG



**FIG. 17**

VORÜBERGEHEND GESPEICHERT  
UND GLEICHMÄSSIG GEMISCHT

